

Türkiye’de demiryolu ağırlıklı kombine yük taşımacılığı olanaklarının araştırılması

Yaşar VİTOŞOĞLU*, Güngör EVREN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, bir ağ modeli geliştirilerek Türkiye’de demiryolu ağırlıklı kombine yük taşımacılığı olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Geliştirilen model, çeşitli mal gruplarından oluşan yüklerin karayolu ile demiryolunu içeren bir ağ üzerinde taşınmasının benzetimini gerçekleştirmektedir. Yolcu trafiğinin de aynı ağı kullandığı göz önünde tutularak yolcu taşımaları da modelde dikkate alınmaktadır. Modelde yük ve yolcu taşımacılığı için talep, bir matrisler kümesi ile tanımlanmaktadır. Bu yüzden iller arasında gerçekleştirilen yük ve yolcu taşımalarına ait matrisler elde edilmiş ve çoklu regresyon analizi kullanılarak yük ve yolcu taşımalarının ileriye dönük tahmininde kullanılacak çekim modeli tarzında denklemler geliştirilmiştir. Karayollarında gerçekleştirilen iller arası yük ve yolcu taşımalarına ait matrislerin belirlenmesi için eksenler bazında verilen araç sayılarından O-D matrisleri oluşturabilen ve Bell tarafından geliştirilen modelden yararlanılmıştır. Demiryolu yük ve yolcu matrislerinin belirlenmesi için TCDD tarafından sağlanan yük taşımalarına ilişkin veriler ile ekspres ve bölgesel yolcu trenleri cetvelleri kullanılmıştır. Karayolu, otoyolu, bağlantı yolları, demiryolu, transfer ve merkez bağlantılarından oluşan bütünleşik ulaştırma ağı ile sadece merkez, karayolu, otoyolu ve bağlantı yollarından oluşan karayolu ağları ve yine sadece merkez ve demiryolu bağlantılarından oluşan demiryolu ağı üzerine yük grupları ve yolcular için elde edilen O-D matrislerinin atamaları gerçekleştirilmiştir. Bu atamalardan sonra hangi demiryolu bağlantılarında sıkışıklık oluşacağı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye’de kombine yük taşımacılığının yaygınlaşması için neler yapılması gerektiği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağ analizi, matris tahmini, çekim modelleri, kombine taşımacılık.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Yaşar VİTOŞOĞLU. yvitosoglu@hotmail.com; Tel: (212) 285 36 69.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ulaştırma Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Türkiye’de demiryolu ağırlıklı kombine yük taşımacılığı olanaklarının araştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 06.10.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 10.01.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Investigation of the opportunities for railway based combined freight transport in Turkey

Extended abstract

If some special cases are excluded, highway transportation is the only mode used to provide the door-to-door movement of goods. Although highway transportation is used commonly, it is not suitable for freight to be carried over long distances because of its cost and environmental impacts. For this reason, more than one mode must be used to carry goods economically and safely. This kind of transportation is called multimodal transport, or intermodal transport, or combined transport and has also been increasing in Turkey. However, in addition to the shortcomings in railway infrastructure, the deficiencies in operating the existing system prevents railways from playing an important role in combined transport.

In this study, the requisities that must be brought in to improve the opportunities of combined transport in Turkey have been investigated by developing a network model. The model developed carries out simulating the freight flows consisting of various commercial goods on a multimodal network representing highway and railway modes. The existence of more than one mode between two adjacent regions is represented with parallel links. In order to model transfer of freight between transportation modes, transfer links have been formed. In addition, passenger transportation is taken into account, considering that it also uses the same network. However, it is assumed that travellers determine in advance which transportation mode they will use and that there are no transfers between these transportation modes.

Different cost functions are defined for passenger and freight transport. These cost functions depend on the volume of goods and the amount of passenger traffic on the link. Similarly, a cost function is associated with each transfer link. The demand for each product and passenger traffic is specified by a set of O-D matrices. The mode choice for each product and passenger traffic is also indicated by defining for each of these O-D matrices. The demand matrices for passenger transportation are determined separately for highway and railway modes. Highway passenger traffic is also divided into two groups as

automobile and bus passenger. The Bell Model that estimates matrices from traffic counts was used to determine the intercity highway passenger and freight transportation matrices. For highway freight transportation, the initial matrices were formed by modelling the observed matrices obtained from roadside interviews with respect to some socioeconomic parameters, using multiple regression analysis. After these freight matrices were used as the initial matrices in Bell's model, the other set of matrices that are consistent with the average annual daily truck traffic on 250 highway sections were determined. The matrices obtained for each freight type by using the Bell Model were also analysed statistically. The model developed by Bell was utilized to determine intercity automobile and bus travel matrices. In this case, the principles of Gravity Model were also used to form the initial matrices. After the intercity automobile and bus travel matrices were determined by using Bell's method, statistical analyses were performed for the O-D information obtained from these matrices. In order to determine the railway freight and passenger matrices, the freight transport database provided by TCDD and the charts of express and regional passenger trains were used.

The multimodal as well as the highway and railway networks were coded, considering all link attributes such as distance, speed, time, and price. The O-D matrices obtained for all freight and passenger types were then assigned onto the related networks, taking into account the unit time values of all freight types and passengers. As a result of these assignments, the freight and passenger volumes carried on links as well as numbers of vehicles and trains were found. For each link, the numbers of vehicles and trains on the links that result from assigning the freight and passenger matrices onto the related networks were added up, and the total numbers of vehicles and trains on links were found. In conclusion, it is seen that the highway, freeway and connection links are not congested, and that some of the railway links carry freight volumes beyond their capacities.

Finally, the requisites that must be brought in to improve the possibilities of combined transport in Turkey were discussed, based on the results obtained from this study.

Keywords: Network analysis, matrix estimation, gravity models, combined transport.

Giriş

Özel bazı durumlar dışında, karayolu hariç hiç bir ulaştırma türü kapıdan kapıya taşıma hizmeti sunamamaktadır. Karayolu ise yaygın olarak kullanılmakla birlikte, teknik ve ekonomik açıdan yüklerin uzun mesafelere taşındığı durumlar için uygun değildir. Bu nedenle yüklerin ekonomik ve güvenli bir şekilde taşınmasında birden fazla ulaştırma türünün kullanılması zorunlu olup bu taşıma türü çok türlü taşımacılık, türler arası taşımacılık ve kombine taşımacılık isimleriyle anılmaktadır. Türkiye’de kombine taşımacılık, dünyadaki gelişmelere paralel olarak artmasına rağmen, altyapısındaki eksikliklerin yanında iyi işletilememesi demiryolunun bu taşımacılık türünde etkin bir rol oynamasını önlemektedir. Dolayısıyla başta demiryolları olmak üzere tüm ulaştırma altyapısının etkinliğinin kombine taşımacılığın gelişimine destek olacak şekilde attırılması gerekmektedir. Bu çalışmada da bir ağ modeli geliştirilerek Türkiye’de demiryolu ağırlıklı kombine yük taşımacılığı olanaklarının geliştirilmesi için yapılması gerekenler saptanmaya çalışılmıştır.

Birden fazla ulaştırma türünü içeren ağ modellerinin geliştirilmesi, genel ulaştırma politikaları üreten karar vericilerin yanında diğer şirketler karşısında rekabet güçlerini korumak isteyen taşımacı kuruluşlar için de değerli araçlardır. Sonuç olarak, bu tür ağ modellerinin geliştirilmesi için 1960’lı yıllardan itibaren pek çok araştırmacı çaba harcamıştır.

Harvard Modeli, birden fazla ulaştırma türünü göz önüne alan bu tarzda ilk yük taşımacılığı ağ modelidir (Kresge ve Roberts, 1971). Bir ülkenin ulaştırma ağına uygulanan bu modelde bağlantılar, gerçek fiziksel ulaşım yollarını değil güzergahları, düğüm noktaları da bölgeleri temsil etmektedir. Sıkışıklık etkileri ise dikkate alınmamıştır. Daha sonra geliştirilen Eyaletler Arası Ulaşım Koridoru Modelinde birden fazla ulaşım türünü içeren ağ, gerçek fiziksel ulaşım yollarını temsil eden bağlantılardan ve düğüm noktalarından oluşmaktadır (Sharp, 1979). Sıkışıklık etkileri bu modelde de göz önüne alınmamıştır. Ulusal Enerji Ulaştırması Çalışması’nın bir parçası olarak birden fazla yük ve

ulaştırma türünü göz önüne alsa da sıkışıklık etkilerini dikkate almayan ve Ulaştırma Ağı Modeli olarak anılan bir başka ağ modeli daha geliştirilmiştir (Bronzini, 1980). Lansdowne (1981) tarafından geliştirilen Demiryolu Yük Trafiği Ataması Modeli ise, içerik bakımından yukarıda sözü edilen modeller kadar kapsamlı olmamasına rağmen taşıtıcı-taşımacı arasındaki etkileşimleri günümüzdeki demiryolu yük taşımacılığı uygulamalarına uyan tarzda ele almaya çalışmaktadır. Sıkışıklık etkileri bu modelde de göz önüne alınmamıştır. Sıkışıklık etkilerini ve taşıtıcı-taşımacı arasındaki etkileşimleri dikkate alan ilk model ise, Yük Taşımacılığı Ağ Denge Modelidir (Friesz vd., 1986). Bu modelde taşıtıcılar ve taşımacılar ardışık olarak ele alınmakta ve iki tane ağ gösterimi kullanılmaktadır. Bu ağlardan birincisi, kullanıcılar tarafından algılanan bütünlüklü bir ağ olup taşıtıcılar tarafından yükleri taşımak üzere hangi taşımacıların seçileceğini belirlemeye hizmet etmektedir. İkinci ağ ise, yüklerin en az toplam maliyetle taşındığı ve her bir taşımacı için ayrı olarak tanımlanmış daha detaylı ağların bir bütünüdür. Yük Taşımacılığı Ağ Denge Modelinin daha genelleştirilmiş bir hali olan başka bir model, Harker ve Friesz (1986a ve 1986b) tarafından önerilmiştir. Bu modelde konumsal denge modellerinin değişken ulaştırma talebi yaklaşımı, taşıtıcı ve taşımacıların davranış şekillerinin detaylı bir tarifıyla birleştirilmekte ve yük taşımacılığı için yaratım, dağıtım, türel dağılım ve atama işlemleri ardışık değil eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Daha sonra önerilen bir başka modelde ise taşıtıcı ve taşımacılar, yüklerin taşınmasıyla ilgili karar süreçlerinde ayrı aktörler olarak göz önüne alınmamaktadır (Guelat vd., 1990).

Ağ modeli geliştirilmesi

Türkiye’de demiryolu ağırlıklı kombine yük taşımacılığı olanaklarının araştırılması için geliştirilen model, çeşitli mal gruplarından oluşan yüklerin karayolu ve demiryolu ulaştırma türlerini içeren bir ağ üzerinde taşınmasının benzetimini gerçekleştirmektedir. İki komşu bölge arasında hem karayolu hem de demiryolu taşıma türlerinin mevcut olması durumu, paralel bağlantılar ile temsil edilmektedir. Bölge merkezle-

ri ve önemli kavşak yerleri de düğüm noktalarıyla gösterilmektedir. Ulaştırma türleri arasındaki transferleri modellemek üzere ağın belirli düğüm noktaları arasında transfer bağlantıları oluşturulmuştur. Yolcu trafiği de aynı ağı kullandığından yolcu taşımaları da dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte yolcuların bir yerden başka bir yere gitmek için kullanacakları ulaştırma türlerini önceden belirledikleri ve bu ulaştırma türleri arasında herhangi bir transferin söz konusu olmadığı varsayılmaktadır.

Yük ve yolcu taşımacılığının planlamasında amaç, ulaştırma altyapısının en etkin biçimde kullanılarak yük ve yolcuların en az toplam genelleştirilmiş maliyetle taşınmasıdır. Burada genelleştirilmiş maliyet terimi, parasal maliyet ile zaman değerini içermektedir. Sonuç olarak her bir a bağlantısı için yolcu ve yük taşımacılıklarında farklı olacak şekilde bir maliyet fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bu maliyet fonksiyonu, bağlantı üzerinde taşınan yüklerin hacmine ve yolcu trafiği miktarına bağlı olmaktadır. Benzer şekilde her bir t transfer bağlantısı için de bir maliyet fonksiyonu tanımlanmaktadır.

Her bir yük grubu ile yolcu trafiği için talep, bir O-D matrisler kümesiyle belirlenmektedir. Yük ve yolcu taşımacılığı için ulaştırma türü seçimi de, bu O-D matrislerinin tanımlanmasıyla yapılmaktadır. Yolcu trafiği için talep matrisi, karayolu ve demiryolu ulaştırma türleri için ayrı ayrı belirlenmektedir. Karayolu yolcu trafiği de, otomobil ve otobüs yolculukları olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Yolcu trafiğinin ağ üzerindeki akış hacimleri, yolcuların ulaştırma türleri arasında transferi söz konusu olmadığından, sadece bağlantılar üzerindeki akışından oluşmaktadır. Yük grupları için talep matrisleri ise, bu yükleri taşımak için kullanılan karayolu ve demiryolu ulaştırma türleri için elde edilen matrislerin toplanmasıyla bulunmaktadır. Yük gruplarının demiryolu ve karayolu ulaştırma türlerini içeren ağ üzerindeki akış hacimleri de, yük gruplarının karayolu, demiryolu ve transfer bağlantıları üzerindeki akışlarının toplamından oluşmaktadır.

Geliştirilen modelde yolcu trafiği ile bütün yük gruplarının birden fazla taşıma türünü kapsayan ağ üzerindeki akışının maliyeti minimize edilmesi gereken F fonksiyonu olup şu şekilde ifade edilmektedir:

$$F = \sum_{a \in A_k} \int_0^{v_a^{yo}} c_a^{yo}(w) dw + \sum_{p \in P} \left(\sum_{a \in A} \int_0^{v_a^p} c_a^p(w) dw + \sum_{t \in T} \int_0^{v_t^p} c_t^p(v) dv \right) \quad (1)$$

Bu fonksiyonda birinci terim, otomobil yolcu trafiğinin karayolunu temsil eden ağa kullanıcı eniyilemesi ilkesine göre atanmasını ifade etmektedir. Karayolu otobüs ve demiryolu yolcu taşımaları ise, amaç fonksiyonunda yer almamaktadır. Bunun nedeni, otobüs ve yolcu trenlerinin sabit bir güzergah üzerinde taşıma yapmalarından dolayı kullanıcı eniyilemesi ilkesinin bu taşıma türlerinde geçerliliğini yitirmesidir. Dolayısıyla geliştirilen modelde otobüs yolcu matrisinin karayolu ağına, yolcu treni matrisinin de demiryolu ağına hep-ya da-hiç yöntemiyle atanmasından sonra sırasıyla karayolu ve demiryolu bağlantıları üzerinde ortaya çıkan otobüs ve yolcu treni sayılarının, sabit olduğu varsayılmaktadır. F fonksiyonunda ikinci terim ise, yük gruplarının birden fazla ulaştırma türünü temsil eden ağa yine kullanıcı eniyilemesi ilkesine göre atanmasını ifade etmektedir. Parantez içindeki ifadelerden birincisi yük gruplarının karayolu ve demiryolu bağlantıları üzerine, ikincisi ise transfer bağlantıları üzerine atanacağını belirtmektedir. Karayolu yük taşımacılığında pek çok firma olduğundan kullanıcı eniyilemesi ilkesinin karayolu yük taşımacılığında kullanılması herhangi bir sakınca yaratmamaktadır. Tek otorite tarafından işletilen demiryolu yük taşımacılığında ise bu varsayım geçerliliğini yitirmektedir. Çünkü merkezi otoritenin, trenlerin yolculuk maliyetini bireysel olarak en küçükleme yerine, tüm sistemin maliyetini en küçüleyecek bir sistem eniyilemesi modelini işletme politikası olarak tercih etmesi doğaldır. Bununla birlikte, demiryolu ağının seyrek bir yapıda olması ve bağlantılar üzerinde sıkışıklığın olmaması durumunda, kullanıcı ve sistem eniyileme-

si yaklaşımları birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak problem, yukarıda verilen ifadeyi akımların korunumu ve negatif olmama kısıtlarına bağlı olarak en küçükleyen bir atama modelidir.

Yukarıda belirtilen atama problemini yaklaşık olarak çözmek için kullanılan algoritmanın esasını, sezgisel bir yöntem olan ardışık ortalamalar yöntemi oluşturmakta ve şu adımları içermektedir:

Adım 0. Başlangıç

Bağlantılardaki toplam yolcu ve yük akımının sıfır olduğu kabul edilerek bağlantıların maliyetleri bulunur. Bu maliyetler esas alınıp en kısa yol algoritması kullanılarak yolcu ve yük matrislerinin tamamının ataması yapılır ve bağlantılardaki toplam yolcu ve yük akımları ile tren ve araç sayıları belirlenir. $n = 1$ yapılır.

Adım 1. Ana döngü

$v_{\text{eski}} = v^n$ olarak tanımlandıktan sonra yolcu ve her bir yük grubu için küçük döngü gerçekleştirilir.

Küçük döngü

- Bağlantılardaki toplam yolcu ve yük akımları (v^n) esas alınarak yük ve yolcu taşımacılığı için bağlantıların maliyetleri belirlenir $((c^y)^n, (c^p)^n)$.
- Bu maliyetler esas alınıp en kısa yol algoritması kullanılarak yolcu ve yük matrislerinin yine tamamının ataması yapılarak bağlantılar üzerinde bu atamadan kaynaklanan yardımcı akımlar hesaplanır $((y^y)^n, (y^p)^n)$.
- $(v^y)^{n+1} = (1 - \phi)(v^y)^n + \phi(y^y)^n$ ya da $(v^p)^{n+1} = (1 - \phi)(v^p)^n + \phi(y^p)^n$ formüllerinden sırasıyla yolcu ve yükler için bağlantılar üzerindeki yeni akımlar ile tren ve araç sayıları belirlenir. $n = n + 1$ yapılır.

Adım 2. Durdurma kriteri

$v^n \neq v_{\text{eski}}$ ise Adım 1’e geri dönülür. Aksi takdirde işlemlere son verilir.

Adım 1 aşamasında yolcu taşımacılığı için küçük döngü gerçekleştirilirken yük taşımacılığın-
dan kaynaklanan bağlantılardaki yük hacimleri,

dolayısıyla taşıt ve tren sayıları sabit tutulmaktadır. Yine belirli bir yük grubunun taşınmasında, yolcu ve diğer yük gruplarının taşınmasından doğan bağlantılar üzerindeki yolcu ve yük hacimlerinin, dolayısıyla taşıt ve tren sayılarının sabit oldukları farzedilmektedir. Bu çalışmada $\phi = 1/n$ olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca demiryolu ve otobüs yolcu taşımacılığı matrisleri başlangıç aşamasında en kısa güzergahlara atandıktan sonra bağlantılar üzerinde ortaya çıkan yolcu treni ve otobüs sayıları sabit tutulmakta ve yeni maliyetlere göre yapılan müteakip atamalar bu matrisler için gerçekleştirilmemektedir.

Karayolu ve demiryolu yük ve yolcu matrislerinin tahmin edilmesi

Ulaştırma modellerinin kalibrasyonu ya da gelecekteki ulaşım taleplerinin öngörüsü için yolcu ve yük taşımalarına ait başlangıç-son matrislerinin oluşturulması önemli olduğundan bu çalışmada da karayolu ve demiryolu taşıma türleri için yük ve yolcu matrisleri elde edilmiştir.

Karayollarında gerçekleştirilen iller arası yük ve yolcu taşımalarına ait matrislerin belirlenmesi için, eksenler bazında verilen araç sayılarından O-D matrisleri oluşturabilen ve Bell (1983) tarafından geliştirilen modelden yararlanılmıştır. Bu modelin kullanılmasında başlangıç matrisinin iyi tanımlanması, sonuç matrisin daha gerçekçi olmasını sağlamaktadır. Karayolu yük taşımacılığı için başlangıç matrisleri, gözlenmiş kamyon sayıları matrislerinin çoklu regresyon analiziyle bir takım sosyoekonomik parametrelere göre modellenmesi suretiyle oluşturulmuştur. Gözlenmiş kamyon sayıları matrislerinin belirlenmesinde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından 1992-2003 yılları arasında çeşitli istasyonlarda gerçekleştirilmiş olan dingil ağırlığı etütlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca yine KGM tarafından her yıl yayınlanan Trafik ve Ulaşım Bilgileri İstatistikleri (2002) kullanılmıştır. Sonuç olarak, boş kamyon, tarım ürünleri, maden cevheri, inşaat malzemeleri, hayvani ürünler, işlenmiş maddeler, canlı hayvan, orman ürünleri ve diğer yükler olmak üzere 9 yük grubu için gözlenmiş kamyon sayıları matrisleri elde edilmiştir. Ayrıca bu matrisler toplanarak toplam gözlenmiş kamyon sayısı matrisi bulunmuştur.

Bu matrislerdeki O-D bilgileri kullanılarak toplam ve her bir yük grubu için gerçekleştirilen istatistiksel analizlerde, iller arasında yük taşıyan kamyonların sayısı bağımlı değişken, illerin toplam ya da ilgili alt sektör gayri safi milli hasılları ile iller arasındaki uzaklıklar ise bağımsız değişkenler olarak alınmıştır. Çoklu regresyon analizi yapılmadan önce, varyans-kovaryans ve saçılım analizleri yapılarak, parametreler arasındaki ilişkinin aşağıda verilen eşitlikteki gibi olduğu tespit edilmiştir:

$$KS_{ij} = K \frac{OGSMH_i^\alpha DGS MH_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (2)$$

Burada KS_{ij} : i ilinden j iline bir günde yük taşıyan kamyonların sayısı, $OGSMH_i$: i ilinin toplam ya da ilgili alt sektör gayri safi milli hasılası (milyon TL), $DGS MH_j$: j ilinin toplam gayri safi milli hasılası (milyon TL), d_{ij} : i ve j illeri arasındaki uzaklık (km), K: sabit bir kalibrasyon katsayısı, α , β , γ : kalibrasyon sabitleridir.

Yukarıda verilen bağıntının her iki tarafının da logaritması alındıktan sonra gerçekleştirilen çoklu regresyon analizlerinde parametrelerin anlamlılıkları Student-testi ile, çoklu korelasyon katsayısının (R) anlamlılığı ise F-testi ile kontrol edilmiştir. Yüksek düzeyde saçılan değerler atılmış ve çoklu belirtme katsayısının (R) parametrelerle ilişkisi değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizlerden elde edilen bağımsız değişkenlere ait katsayılar, kalibrasyon sabitleri olarak kullanılarak (2) nolu denklemde yerlerine konulmuş ve kamyon sayıları için ikinci bir matris grubu elde edilmiştir. Bu matrislerin hücreleri, toplam ve 9 yük grubu için istatistiksel modellerin tahmin ettiği kamyon sayılarını göstermektedir. Daha sonra 9 yük grubu için kamyonların taşıdığı ortalama ağırlıklar hesaplanmış ve her bir yük grubuna ait modelin uygulanmasından bulunan kamyon sayıları matrislerinin hücreleri bu ortalama ağırlıklar ile çarpılarak ton cinsinden yük matrisleri elde edilmiştir. Bu yük matrisleri ise gerekli işlemlerden sonra Bell modelinde başlangıç matrisleri olarak kullanılarak 250 kesim için yıllık ortalama günlük kamyon trafiğiyle tutarlı bir başka matris grubu belirlenmiştir. Bu matrisler de istatistiksel olarak

analiz edilmiştir. Burada iller arasında taşınan ton cinsinden yük miktarları bağımlı değişken, illerin ilgili alt sektör ve toplam gayri safi milli hasılları ile iller arasındaki uzaklıklar ise bağımsız değişkendir. Aynı şekilde çoklu regresyon analizi yapılmadan önce, varyans-kovaryans ve saçılım analizleri yapılmış ve parametreler arasındaki ilişkinin aşağıda verilen eşitlikteki gibi olduğu tespit edilmiştir:

$$TYM_{ij} = K \frac{OGSMH_i^\alpha DGS MH_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (3)$$

Burada TYM_{ij} : i ilinden j iline bir günde taşınan yük miktarı (ton), $OGSMH_i$: i ilinin toplam ya da ilgili alt sektör gayri safi milli hasılası (milyon TL), $DGS MH_j$: j ilinin toplam gayri safi milli hasılası (milyon TL), d_{ij} : i ve j illeri arasındaki uzaklık (km), K: sabit bir kalibrasyon katsayısı, α , β , γ : kalibrasyon sabitleridir.

Kamyon sayıları için gerçekleştirilen istatistiksel analizlerin aynısı, taşınan yük miktarları için de yapılmış ve Tablo 1'deki sonuçlar elde edilmiştir. İstatistiksel analizlerden elde edilen bağımsız değişkenlere ait katsayılar, kalibrasyon sabitleri olarak kullanılarak (3) nolu denklemde yerlerine konulmuş ve taşınan yük miktarları için başka bir matris grubu elde edilmiştir. Bu analizlerden elde edilen matrisler de Bell Modelinde başlangıç matrisi olarak kullanılarak 9 yük grubu için nihai matrisler bulunmuştur.

Şehirler arası otomobil ve otobüs yolculukları matrislerinin belirlenmesi için de Bell Modeli kullanılmıştır. Burada da başlangıç matrislerinin oluşturulması için Çekim Modelinin esaslarından yararlanılarak bir i şehirden bir j şehrine yapılan otomobil ve otobüs yolculuklarının, i ve j şehirlerinin nüfuslarının kuvvet fonksiyonlarının çarpımları ile doğru orantılı ve bu iki şehrin arasındaki uzaklığın bir kuvvet fonksiyonu ile ters orantılı olduğu varsayılmıştır. Daha açık bir şekilde yukarıdaki ifade şu eşitlik yardımı ile özetlenebilir:

$$t_{ij}^o = k \frac{P_i^\alpha P_j^\beta}{d_{ij}^\gamma} \quad (4)$$

Burada t_{ij}^o : i ilinden j iline yapılan günlük otomobil ya da otobüs yolculukları, P_i : i ilinin nüfusu, P_j : j ilinin nüfusu, d_{ij} : i ve j illeri arasındaki uzaklık (km), k : bir katsayı, α , β , γ : kalibrasyon sabitleridir. Otomobil yolculukları için kalibrasyon sabitlerinin belirlenmesinde Çekim Modelinin en eski ve basit şekli esas alınarak α , β ve γ sabitlerinin sırası ile 1, 1 ve 2 değerlerini aldığı kabul edilmiştir. Otobüs yolculuklarında ise kalibrasyon sabitleri İstanbul ve Ankara’da bazı illere günde karşılıklı olarak yapılan otobüs seferleri esas alınarak gerçekleştirilen çoklu regresyon analizinden sırası ile 0.748, 0.748 ve 1.057 olarak elde edilmiştir. k sabiti ise, yine bu analizden 0.0001191 olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Yük miktarları esas alınarak yapılan istatistiksel analizlerin sonuçları

Yük Grupları	Bağımsız Değişkenler	Katsa.	p<0.05
1. Yük Grubu (Boş Kamyon) $R^2=0.661$	O-Toplam GSMH	0.330	0.00
	D-Toplam GSMH	0.338	0.00
	Uzaklık	1.223	0.00
	Sabit katsayı	2.093	0.00
2. Yük Grubu (Tarım Ürünleri) $R^2=0.543$	O-Çiftçilik GSMH	0.456	0.00
	D-Toplam GSMH	0.448	0.00
	Uzaklık	1.049	0.00
	Sabit katsayı	3.834	0.00
3. Yük Grubu (Maden Cevheri) $R^2=0.408$	O-Madencilik GSMH	0.100	0.00
	D-Toplam GSMH	0.399	0.00
	Uzaklık	0.813	0.00
	Sabit katsayı	1.160	0.00
4. Yük Grubu (İnşaat Malzemeleri) $R^2=0.625$	O-İmalat San. GSMH	0.208	0.00
	D-Toplam GSMH	0.409	0.00
	Uzaklık	1.317	0.00
	Sabit katsayı	0.587	0.00
5. Yük Grubu (Hayvansal Ürünler) $R^2=0.304$	O-Hayvancılık GSMH	0.163	0.00
	D-Toplam GSMH	0.238	0.00
	Uzaklık	0.513	0.00
	Sabit katsayı	1.592	0.00
6. Yük Grubu (İşlenmiş Maddeler) $R^2=0.590$	O-İmalat San. GSMH	0.268	0.00
	D-Toplam GSMH	0.467	0.00
	Uzaklık	1.116	0.00
	Sabit katsayı	2.118	0.00
7. Yük Grubu (Canlı Hayvan) $R^2=0.169$	O-Hayvancılık GSMH	0.040	0.263
	D-Toplam GSMH	0.164	0.00
	Uzaklık	0.259	0.00
	Sabit katsayı	0.861	0.113
8. Yük Grubu (Orman Ürünleri) $R^2=0.331$	O-Ormancılık GSMH	0.137	0.00
	D-Toplam GSMH	0.303	0.00
	Uzaklık	0.641	0.00
	Sabit katsayı	1.291	0.00
9. Yük Grubu (Diğer Maddeler) $R^2=0.570$	O-İmalat San. GSMH	0.235	0.00
	D-Toplam GSMH	0.448	0.00
	Uzaklık	1.076	0.00
	Sabit katsayı	1.961	0.00

Şehirler arası otomobil ve otobüs yolculukları matrisleri Bell modeli kullanılarak bulunduğundan sonra bu matrislerden elde edilen O-D bilgileri için de istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Burada iller arasında yapılan şehirler arası otomobil ve otobüs yolculukları bağımlı değişkenler, illerin nüfusları ve aralarındaki uzaklıklar ise bağımsız değişkenler olarak alınmıştır. Kamyon sayıları ve taşınan yük miktarları için gerçekleştirilen istatistiksel analizlerin aynısı, otomobil ve otobüs yolculukları için de yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. Bu analizlerden elde edilen bağımsız değişkenlere ait katsayılar, kalibrasyon sabitleri olarak kullanılarak otomobil ve otobüs yolculukları için yine Çekim Modeli formunda denklemler elde edilmiştir. Bu denklemlerden otomobil ve otobüs yolculukları için ikinci bir matris grubu belirlenmiştir. Bu matrislerin hücreleri, iller arası otomobil ve otobüs yolculukları için istatistiksel modellerin tahmin ettiği otomobil sayıları ile otobüs yolculuklarını göstermektedir. Son olarak bu matrisler, Bell Modelinde başlangıç matrisi olarak kullanılmış ve nihai otomobil ve otobüs yolculukları matrisleri bulunmuştur.

Tablo 2. Otomobil sayısı ile otobüs yolcu sayılarının bulunması için gerçekleştirilen istatistiksel analizin sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	Katsayılar	p<0.05
Otomobil Sayısı $R^2=0.733$	O-Nüfus	0.588	0.00
	D-Nüfus	0.588	0.00
	Uzaklık	1.868	0.00
	Sabit katsayı	0.870	0.00
Otobüs Yolcu Sayısı $R^2=0.672$	O-Nüfus	0.820	0.00
	D-Nüfus	0.820	0.00
	Uzaklık	1.365	0.00
	Sabit katsayı	4.357	0.00

Demiryolu yük ve yolcu matrislerinin belirlenmesi için TCDD tarafından sağlanan TCDD Yük Taşımaları Veri Tabanı (2000) ile ekspres ve bölgesel yolcu trenleri cetvelleri kullanılmıştır. Yük taşımacılığı için akaryakıt; asfalt; canlı hayvan; deri, kauçuk ve dokuma ürünleri; elektrikli makineler ve aletler; gübreler; işlenmiş gıda maddeleri; kimyasal maddeler; kağıt ve kartonlar; seramik ve cam mamülleri; sanayiye ve

yem yapımında kullanılan bitkiler; taş veya betondan yapılmış malzemeler; metal, makina ve taşıtlar; orman ürünleri; hububat; inşaatta kullanılan madensel maddeler; katı madeni yakıtlar; maden cevherleri; demiryolu taşıtları; diğer maddeler olmak üzere 20 farklı matris belirlenmiştir. Çalışmada karayolunda taşınan yükler için yapılan gruplandırma esas alındığından demiryollarında taşınan yükler de bu gruplarla uyumlu olacak şekilde eşleştirildikten sonra toplulaştırılmıştır. Karayolundaki boş kamyon ve demiryolundaki demiryolu taşıtları yük grupları ise, taşıma türlerine özgü boş araçları temsil ettiklerinden eşleştirilme dışında tutulmuştur. Bu eşleştirme ve toplulaştırma işlemi şu şekilde yapılmıştır: Tarım ürünleri (sanayide ve yem yapımında kullanılan bitkiler, hububat); maden cevheri (maden cevherleri, katı madeni yakıtlar); inşaat malzemeleri: (inşaatta kullanılan madensel maddeler, taş veya betondan yapılmış malzemeler, seramik ve cam mamulleri); işlenmiş maddeler (deri, kauçuk ve dokuma ürünleri, elektrikli makineler ve aletler, gübreler, işlenmiş gıda maddeleri, kimyasal maddeler, kağıt ve kartonlar, metal, makina ve taşıtlar); canlı hayvan (canlı hayvan); orman ürünleri (orman ürünleri); diğer yükler (akaryakıt, asfalt, diğer maddeler). Demiryolu yük matrisleri yıllık taşımaları gösterdiklerinden bu matrislerin hücreleri 365'e bölünerek günlük taşıma değerlerine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu matrisler, karayolu için bulunan O-D matrisleriyle toplanmıştır. Yalnız bu toplama işleminden önce karayolunda taşınan tarım ürünleri ve karayolu ile demiryolunda taşınan işlenmiş maddeler yük grupları I. ve II. tür olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Demiryolu yolcu taşımalarına dair matrisler ise, yolcu sayıları olarak oluşturulmamış, doğrudan iller arasında günlük olarak işleyen ekspres ya da bölgesel yolcu trenleri olarak belirlenmiştir.

Modelin Türkiye'ye uygulanması

Merkez, karayolu, otoyolu, bağlantı yolları, demiryolu ve transfer bağlantılarından oluşan bütünleşik ulaştırma ağı ile sadece merkez, karayolu, otoyolu ve bağlantı yollarından oluşan karayolu ağları ve yine sadece merkez ve demiryolu bağlantılarından oluşan demiryolu ağı

Transport User Guide (1986) kılavuzunda belirtildiği gibi kodlandıktan sonra yukarıda açıklanan algoritma kullanılarak yük grupları ve yolcular için elde edilen O-D matrisleri genelleştirilmiş maliyetlere göre atanmıştır. Genelleştirilmiş maliyetler, ağların bağlantıları üzerindeki taşımaların kullanıcılara maliyetini yansıtmakta olup yük taşımacılığında aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$c_a^p(w) = c_p L_a + c_{zp} T_a \quad (5)$$

Burada $c_a^p(w)$: a bağlantısının p yük grubunun taşınması için marjinal maliyeti (TL/ton), c_p : p yük grubu için taşıma fiyatı (TL/ton-km), L_a : a bağlantısının uzunluğu (km), c_{zp} : p yük grubunun zaman değeri (TL/ton-saat), T_a : a bağlantısı üzerindeki taşıma süresi (saat)'tir. Bu çalışmada bütün yük grupları için karayolu ve demiryolu ulaştırma türlerinin ton-km başına birim taşıma fiyatlarının sabit olduğu kabul edilmiştir.

Otomobil ve otobüs yolculuğu matrislerinin sadece merkez, karayolu, otoyolu ve bağlantı yollarından oluşan ağa atanması için kullanılan genelleştirilmiş maliyetler de aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$c_a^y(w) = c_y L_a + c_{zy} T_a \quad (6)$$

Burada $c_a^y(w)$: a bağlantısının otomobil ya da otobüs yolcu taşımacılığı için marjinal maliyeti (TL/yolcu), c_y : birim otomobil yolculuğu maliyeti ya da otobüs bilet ücreti (TL/yolcu-km), L_a : a bağlantısının uzunluğu (km), c_{zy} : birim yolculuk zaman değeri (TL/yolcu-saat), T_a : a bağlantısı üzerindeki taşıma süresi (saat)'tir. Yolcu trenleri ise, sadece merkez ve demiryolu bağlantılarından oluşan ağa mesafe kriterine göre atanmıştır.

Ulaştırma ağının bağlantıları üzerindeki genelleştirilmiş maliyetleri hesaplamak için kullanılan yolcu-km ve ton-km başına birim taşıma fiyatları, 2005 yılına ait olup Tablo 3'te gösterilmektedir. Yük taşımacılığı için karayolu birim taşıma fiyatının belirlenmesinde İstanbul'dan

diğer illere yapılan taşımalardan araç başına alınan toplam ücretlerden yararlanılmıştır. Boş kamyon ve otomobiller için ton-km veya yolcu-km başına araç işletim maliyetlerinin bulunmasında ise Karayolu Projelerinin Ekonomik Analizi ve 2002 Yılı Ekonomik Etüt Tabloları kullanılmıştır. Demiryolu yük taşımacılığında birim taşıma fiyatının bulunması için TCDD tarafından iller arasında gerçekleştirilen taşımalardan ton başına talep edilen ücretler esas alınmıştır. Şehirler arası otobüs yolculuklarında yolcu-km başına taşıma fiyatları da, çeşitli iller arasında yapılan otobüs yolculuklarından talep edilen bilet ücretleri kullanılarak belirlenmiştir. Otoyol bağlantıları üzerindeki kamyon, otomobil ve otobüs için birim taşıma fiyatları ise, karayollarındaki birim taşıma fiyatlarına kamyon, otomobil ve otobüslerden alınan otoyol geçiş ücretlerinin ton-km ya da yolcu-km başına parasal değerleri eklenerek bulunmuştur. Bu değerler kamyon, otomobil ve otobüs için sırasıyla 5000 TL/ton-km, 16000 TL/yolcu-km ve 2000 TL/yolcu-km’dir. Bu değerlerin bulunmasında, 2005 yılında KGM tarafından yayınlanan ve çeşitli otoyol kesimlerinde kamyon, otomobil ve otobüslerden alınan geçiş ücretlerini gösteren cetvelden yararlanılmıştır.

Tablo 3. Birim taşıma fiyatları (2005)

Ulaşım Türü	Yük TL/ton-km	Ulaşım Türü	Yolcu TL/yolcu-km
Kamyon	68000	Otobüs	60000
Demiryolu	35000	Otomobil	120000
Boş kamyon	55000		

Ulaştırma ağıнын transfer bağlantıları üzerinde 2005 yılı için Tablo 4’te gösterilen değerler süre ve maliyetler olarak öngörülmektedir. Ton başına yükleme ve boşaltma maliyeti olarak TCDD tarafından kamyonların yüklenmesi ya da boşaltılması için talep edilen ücret kullanılmıştır. Depolama ücretlerinin hesaplanmasında da yine

TCDD tarafından kapalı hangarların her bir m²’si için günlük olarak talep edilen ardiye ücreti esas alınmıştır.

Çalışmada göz önüne alınan yük gruplarının birim zaman maliyetlerinin hesaplanmasında Rapor, No. 95’te (1993) izlenen yöntemden yararlanılmıştır. Bunun için çalışmada göz önüne alınan yük grupları ile Rapor, No. 95’teki yük grupları, birbirleriyle mümkün olduğu kadar tutarlı olacak şekilde eşleştirilmiştir. Bu etütteki yük türlerinin akım miktarlarına bağlı olarak hesaplanan taşınma yüzdelerinin bu çalışmada da aynen geçerli olduğu kabul edilmiş ve yük gruplarının birim zaman maliyetlerinin spesifik yük türlerinin zaman maliyetlerine göre ağırlıklı ortalama alınarak hesaplanmasında bu yüzdeler kullanılmıştır. Önce spesifik mal türlerinin zaman değerleri, ürünlerin fiyatlarına bağlı olarak bulunmuştur. Dolayısıyla bu çalışmada da ürünlerin birim zaman değerlerinin, finansman, sigorta ve bozulma maliyeti olmak üzere üç bileşenin toplamından oluştuğu varsayılmıştır. Finansman ve sigorta maliyetleri, ton başına TL cinsinden ürün değerlerinin sabit bir oranı olmaktadır. Bozulma maliyeti ise, bozulan ürünlerde yine ton başına TL cinsinden ürün değerlerinin sabit bir oranı olup bozulmayan ürünlerde sıfır değerini almaktadır. Rapor, No. 95’te finansman, sigorta ve bozulma maliyetlerinin bulunmasında kullanılan oranların bu çalışmada da geçerli olduğu kabul edilmiştir. Spesifik ürünlerin fiyatları ise 2002 Yılı Toptan Eşya Fiyatları Endeksinden alınmış ve enflasyon oranlarıyla çarpılarak 2005 yılı fiyatlarına dönüştürülmüştür. Maden cevheri, sebze ve meyve gibi birleşik ürünlerin fiyatları ise, bu ürünleri oluşturan daha spesifik ürünlerin fiyatlarının ağırlıklı ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Ağırlıkların bulunmasında ise bu spesifik malların üretim miktarları esas alınmıştır.

Tablo 4. Transfer süre ve maliyetleri (2005)

Transfer	Süre (Dakika)	2005 Fiyatları İle Maliyet (TL/ton)			
		Boşaltma	Depolama	Yükleme	Toplam
Kamyon-Demiryolu	2160	3300000	165000	3300000	6765000
Demiryolu-Kamyon	1440	3300000	110000	3300000	6710000

Boş kamyonlar için birim zaman değerinin bulunmasında Karayolu Projelerinin Ekonomik Analizi ve 2002 Yılı Ekonomik Etüt Tablolarında verilen hesap yönteminden yararlanılmıştır. Dolayısıyla kamyon ve treylerler için birim zaman giderleri, araç başına 2 adet sürücünün aylık ücretlerinin aylık çalışma süresi olan 176 saate bölünmesiyle bulunmuştur. Şehirler arası otomobil ve otobüs yolculukları için birim zaman değerinin bulunmasında yine Karayolu Projelerinin Ekonomik Analizi ve 2002 Yılı Ekonomik Etüt Tablolarında verilen hesap yönteminden yararlanılmıştır. Burada yalnızca otomobil ve otobüs için hesaplanan zaman değeri, kişi başına düşen milli gelirin aylık tutarı baz alınarak bu değer bir ayda çalışılan süre olan 176 saate bölünmesiyle hesaplanmıştır.

Tek ve çift hatlı demiryolu bağlantılarının kapasitelerini hesaplamak için sırasıyla

$$CAP_a = T/(2 \times t) \quad (7) \quad \text{ve} \quad CAP_a = T/t \quad (8)$$

denklemleri kullanılmıştır. Burada T , günlük servis süresi olup 20 saat olarak alınmıştır. t ise, aynı yöne bir sonraki treni göndermek için gerekli zamandır. Bağlantı uzunlukları ara istasyon sayılarının bir fazlasına bölünerek ortalama istasyon mesafeleri bulunmuş ve bulunan bu değerler yük trenleri için 50 km/sa hızına bölünerek t süreleri hesaplanmıştır. Daha sonra yukarıdaki formüller kullanılarak tek ve çift hatlı bağlantıların kapasiteleri bulunmuştur. Tek hatlı demiryolu bağlantıları üzerindeki tren gecikmelerini hesaplamak için ise aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$D_a = FRT_a(1 + \Phi_1 T_a + \Phi_2 (T_a / CAP_a)^{\exp}) \quad (9)$$

Burada D_a : a bağlantısında beklenen yaklaşık gecikme (saat), T_a : a bağlantısındaki toplam tren akımı, CAP_a : a bağlantısının kapasitesi, Φ_1 , Φ_2 , \exp : kalibre edilmesi gereken parametrelerdir. Bu formüldeki Φ_1 , Φ_2 ve \exp kalibrasyon sabitlerinin, bütün bağlantılarda $\Phi_1 = 1.1/CAP_a$, $\Phi_2 = 4.414$ ve $\exp = 6$ değerlerini aldığı kabul edilmiştir. Çift hatlı demiryolu bağlantılarında ise trenlerin, trafik miktarı ne olursa olsun serbest akım hızıyla gittikleri varsayılmıştır.

Çalışmada demiryollarında taşınmakta olan 7 yük grubunun, demiryollarında kullanılan dokuz tür vagonun çeşitli kombinasyonlarla oluşturduğu yedi tip vagon tarafından taşındığı varsayılmıştır. Bu tip vagonların ortalama yükleme ağırlıklarıyla ortalama daraları hesaplanarak demiryolu bağlantıları üzerindeki yük trenlerinin sayısını yük gruplarının hacmine bağlı olarak bulmak için kullanılmıştır. Böylece bir demiryolu bağlantısındaki tren akımları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$t_a = \sum_p (v_a^p + (v_a^p / w_p) \cdot v w_p) / \alpha_p \cdot \beta_a \quad (10)$$

Burada t_a : a bağlantısındaki yük trenlerinin sayısı, v_a^p : a bağlantısındaki p yük grubu akımları (ton), w_p : p vagon tipine yüklenebilecek p yük grubunun miktarı (ton), $v w_p$: p vagon tipinin darası (ton), α_p : p yük grubu yüklü trenin ağırlığı (ton/tren), β_a : bağlantı düzeltme faktörüdür. Bu formüldeki α_p yüklü tren ağırlıklarının, bütün yük türleri için 1000 ton/tren olduğu kabul edilmiştir. β_a bağlantı düzeltme faktörlerinin ise, yine tüm demiryolu bağlantıları için 0.80'e eşit olduğu varsayılmıştır.

Bölünmüş ve bölünmemiş karayolu bağlantıları üzerindeki araç gecikmelerini hesaplamak için Büyük Britanya'daki Ulaştırma Bölümü tarafından geliştirilen hız-akım eğrisi denklemleri kullanılırken otoyol bağlantıları üzerindeki araç gecikmelerini hesaplamak için aşağıdaki denklemden yararlanılmıştır:

$$t_f = t_0 \exp(V/Q_s) \quad (11)$$

Bu denklemde Q_s , bağlantının kapasitesidir. Yük gruplarının taşınmasında kullanılan tip kamyonların ortalama yükleme ağırlıkları, karayolu bağlantıları üzerindeki kamyonların sayısını yük gruplarının bağlantılar üzerindeki hacimlerine bağlı olarak hesaplamak için kullanılmıştır. Dolayısıyla bir a karayolu bağlantısındaki kamyonların sayısı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$k_a = \sum_p (v_a^p / w_{kp}) \quad (12)$$

Bu formüldeki w_{kp} , p yük grubu için ortalama kamyon yükleme ağırlığıdır.

Transfer bağlantılarında yüklerin elleçlenmesi için geçen süreler oldukça uzun alınmalarına rağmen bu bağlantılar için kapasite kısıtları tanımlanmamıştır. Merkez bağlantılarının ortalama uzunluklarının 40 km olduğu varsayılmıştır. Bu bağlantılar üzerinde seyreden kamyonların ortalama hızları 40 km/saat olarak alınmış, boş kamyon bekleme, kamyonu yükleme ve kamyonun boşaltma sürelerinin ise sırasıyla 2 saat, 2 saat ve 1.5 saat olduğu kabul edilmiştir. Otomobil ve otobüslerin ise merkez bağlantıları üzerinde 50 km/saat hızla seyrettiği varsayılmıştır. Yine yolcu trafiği için taşıt bekleme süresi olarak 0.5 saat değeri kullanılmıştır. Kamyonların serbest akım hızlarının karayollarında 60 km/saat, otoyollarında ise 70 km/saat olduğu kabul edilmiştir. Otomobil ve otobüslerin ise karayolu bağlantıları üzerinde serbest akım koşullarında 63 km/saat, otoyolu bağlantıları üzerinde de 90 km/saat hızla seyretdikleri varsayılmıştır. Kamyon ve otobüslerin ortalama doluluk oranları, 2000 yılında gerçekleştirilen dingil ağırlığı etütleri özet raporundan kamyon için 10.80 ton, otobüs için 28 yolcu olarak belirlenmiştir. Otomobil için ise ortalama doluluk oranı, Karayolu Projelerinin Ekonomik Analizi ve 2002 yılı Ekonomik Etüt Tablolarında 2.5 yolcu olarak belirtilmiş olup bu çalışmada da bu değer esas alınmıştır. Demiryolu bağlantıları için yük ve yolcu trenlerinin serbest akım hızlarının sırasıyla 50 km/saat ve 70 km/saat olduğu kabul edilmiştir.

Yük ve yolcu matrislerinin atamaları gerçekleştirildikten sonra ağların bağlantıları üzerinde taşınan yük ve yolcu hacimleri ile araç ve tren sayıları bulunmuştur. Boş kamyon, otomobil ve otobüs matrislerinin atamaları sadece merkez, karayolu, otoyolu ve bağlantı yollarından oluşan ağlara yapılmıştır. Bu ağlar kombine yük taşımacılığı ağının modifiye edilmesiyle oluşturulmuştur. Boş vagon taşımalarını temsil eden demiryolu araçları matrisi ile ekspres ve bölgesel

yolcu trenleri matrisleri ise sadece demiryolu ve merkez bağlantılarından oluşan ve ayrıca teşkil edilen ağa yapılmıştır. Demiryolu bağlantılarındaki ekspres ve bölgesel yolcu treni sayıları ise yük taşımacılığı için hesaplanan hat kapasitesi değerlerinden çıkartılarak demiryolu bağlantılarının yük taşımacılığı için net kapasiteleri belirlenmiştir. Yük ve yolcu matrisleri ile boş kamyon ve demiryolu araçları matrislerinin ağlara atanması sonucu karayolu, otoyolu, bağlantı yolları ve demiryolu bağlantıları üzerinde ortaya çıkan araç ve tren sayılarının her bir bağlantı için toplamı alınarak bağlantılar üzerindeki toplam araç ve tren sayıları bulunmuştur.

Sonuçlar

Bu atamaların sonucunda karayolu, otoyolu ve bağlantı yolları üzerinde herhangi bir sıkışıklığın meydana gelmediği, özellikle İstanbul-Adana Ekseninde yer alan bazı demiryolu bağlantılarının ise kapasitelerinin üzerinde yük taşıdığı görülmüştür. Bu sonuçta İstanbul, Kocaeli, Konya, Adana, İçel, Hatay, Gaziantep gibi büyük ve gelişmiş illerin bu eksen üzerinde yer almaları önemli rol oynamaktadır.

Modelde bölge içi yük ve yolcu taşımalarının göz önüne alınmaması, karayolu bağlantılarının sıkışmamasının önemli nedenlerinden biridir. Matrislerin yıllık ortalama günlük trafik değerleri esas alınarak belirlenmiş olması da diğer bir etkidir. Ayrıca yük ve yolcu taşımalarının büyük miktarda gerçekleştiği karayolu bağlantılarının çoğunlukla bölünmüş yol olması ya da bu bağlantıların paralelinde otoyol bağlantılarının olması da bir başka sebep olarak gösterilebilir.

Geliştirilen modelden elde edilen sonuçlara göre demiryolunun mevcut durumdakinden daha fazla yük taşıması, bir bakıma demiryollarının Türkiye’de hem klasik anlamda hem de konteyner taşımacılığı anlamında büyük bir yük taşımacılığı potansiyelinin olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hatların kapasitesinin düşük olması, çeken ve çekilen araçlarla birlikte personel eksikliği, pazarlamada yaşanan sorunlar, organizasyon ve işletmede yaşanan aksaklıklar ve daha pek çok neden yüzünden demiryolları

yük taşımacılığında hak ettiği rolü oynayamamaktadır. Dolayısıyla sıkışıklık olan hatların kapasitesinin artırılması, çeken ve çekilen araçların yanında personel eksikliklerinin giderilmesi, yeni iltisak hatları ile konteyner kara terminallerinin yapılması, organizasyon ile işletmede yaşanan aksaklıkların giderilmesi ve yeni hatların yapılması durumunda demiryollarının yük taşımacılığındaki payı artacaktır.

Kaynaklar

- Bell, M. G. H., (1983). The Estimation of an Origin Destination Matrix from Traffic Counts, *Transportation Science*, **17**, 198-217.
- Bronzini, M. S., (1980). Evolution of a Multimodal Freight Transportation Network Model, *Proceedings of the 21st Annual Meeting, Transportation Research Forum*, 475-485, October 27-29, 1980, Philadelphia, Pennsylvania.
- Friesz, T. F., Gottfried, J. A., ve Morlok, E. K., (1986). A Sequential Shipper-Carrier Network for Predicting Freight Flows, *Transportation Science*, **20**, 80-91.
- Guelat, J., Florian, M., ve Crainic, T. G., (1990). A Multimode Multiproduct Network Assignment Model for Strategic Planning of Freight Flows, *Transportation Science*, **24**, 25-39.
- Harker, P. T. ve Friesz, T. F., (1986a). Prediction of Intercity Freight Flows I: Theory, *Transportation Research Part B*, **20(2)**, 139-153.
- Harker, P. T. ve Friesz, T. F., (1986b). Prediction of Intercity Freight Flows II: Mathematical Formulations, *Transportation Research Part B*, **20(2)**, 155-174.
- Kresge, D. T. ve Roberts, P. O., (1971). System Analysis and Simulation Models, *Techniques of Transport Planning*, **2**, 547-560, Brookings Institute, Washington, D.C., U.S.A.
- Lansdowne, Z. F., (1981). Rail Freight traffic Assignment, *Transportation Research Part A*, **15**, 183-190.
- Rapor, No. 95, (1993). *GAP Bölgesel Ulaşım ve Altyapı Geliştirme Çalışması Projesi, Ulaşım Planlama Çalışmaları Nihai Raporu*, GAP Ulaşım ve Altyapı Müşavirlik Hizmetleri Ortaklığı, Ankara.
- Sharp, G. P., (1979). A Multi-Commodity Intermodal Transportation Model, *Proceedings of the 20th Annual Meeting Transportation Research Forum*, 399-407, October 29-31, Chicago, Illinois.
- TCDD Yük Taşımaları Veri Tabanı (2000). *TCDD Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Trafik ve Ulaşım Bilgileri İstatistikleri, (2002). *KGM Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Transport User Guide, (1986). *Micro Computer Transportation Planning Package*, Halcrow Fox and Associates, London, England.